

A projekt megvalósításának első félévében valamennyi pályázatban felvállalt mérési módszerhez szükséges eszközt megvásároltunk illetve elkészítettünk:

1. Suction Crust Infiltrometer, SCI ('házilag' legyártva)
2. Mini Disk Infiltrometer, MDI: www.decagon.com
3. Guelph Infiltrometer, GI: www.soilmoisture.com
4. Tension Disc Infiltrometer, TDI: www.soilmeasurement.com
5. Double Ring Infiltrometer, DRI (legyártatva): www.szondi.hu



1)



2)



3)



4)

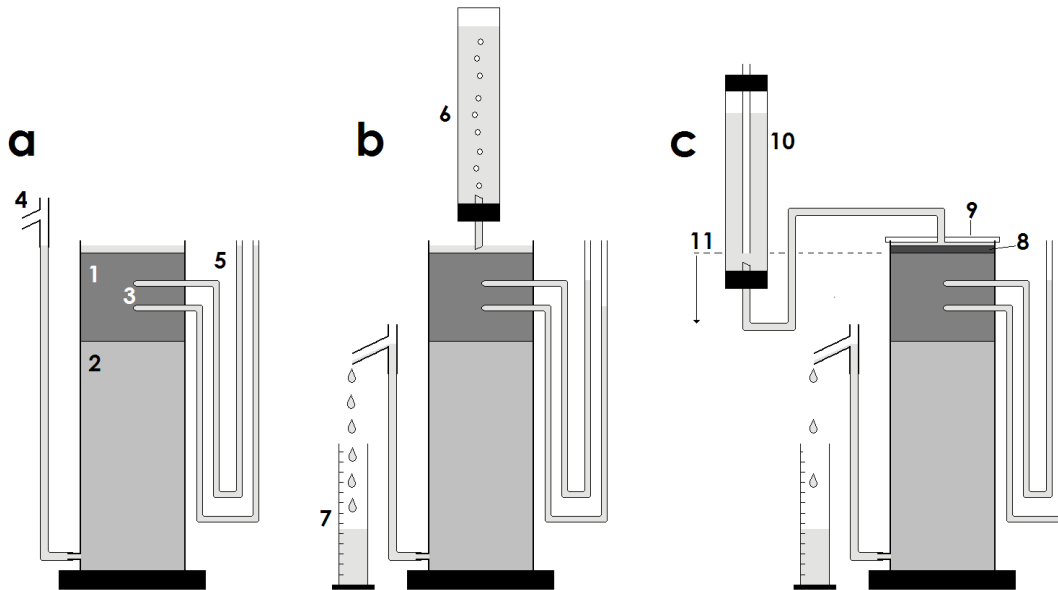


5)

Az 1-3. eszközök hazánkban újdonságnak számítanak, ezért a műszerek működéséről/használatáról, terepi bemutatóval egybekötött szakmai napot tartottunk a Talaj- és Növényvédelmi Szolgálat szakembereinek.

Elkészítettük a projekt alapjául szolgáló publikációban vázolt mérési berendezés prototípusát (SCI). Mivel a publikációban ismertetett eljárás nem tér ki a megvalósítás gyakorlati részleteire, számos módosítást/fejlesztést kellett végrehajtanunk, amelyek természetesen nem befolyásolják az eljárás lényegét. Például: a cikk nem tárgyalja azt, hogy a 20 cm átmérőjű és közel 20 cm magas, talajjal teli, vízzel teljesen telített mintázóhengert miként lehet az egyik mérőegységről a másikra áthelyezni anélkül, hogy a nedves talaj megsüsszon a hengerben. Ennek megakadályozására olyan elrendezést készítettünk, amellyel az eredeti, két lépcsős

mérési folyamatot a minták mozgatása nélkül lehet megvalósítani (1. ábra). A prototípuson egy további fejlesztést is végrehajtottunk. Az eszköz kifejlesztői által zárókupaknak javasolt lapos plexi korong alkalmazásakor a kupak és a kéreg közötti hézagter vízrel való feltöltésekor, légbuborékok szorulhatnak a kupak alá, meghamisítva a mérés eredményét. A lapos korongot alulról enyhén boltíves plexi kupakra cseréltük, amely használata megkönnyíti a légbuborékok távozását. Elkészítettük a módosított mérési berendezés prototípusát 5 példányban, azért, hogy az 5 ismétlésben megvett mintákon párhuzamosan lehessen a mérést elvégezni.



1. ábra: A Suction Crust Infiltrometer ('kéreg' módszer) mérési elrendezése. 1 – talajminta, 2 – kvarchomokkal töltött henger, 3 – tenziométerek, 4 – túlfolyó, 5 – manométerek, 6 – Mariott palack, 7 – mérőhenger, 8 – kvarchomok-csemperagasztó kéreg, 9 – plexi kupak, 10 – bűretta, 11 – 0 cm_{H₂O} szívóerő szintje.

Ezen módszer nagy előnye, hogy segítségével ugyanazon a mintán lehet megmérni a talaj mátrix (makro-pórusok kizárásával, $K_{S,mátrix}$) és a talaj tényleges vezetőképességét ($K_{S,makro}$), sőt, segítségével a talajok $K(\Phi)$ függvényének 0-30 cm-es szívóerő-tartományba eső része is meghatározható. Ezen felül a módszer több okból is etalonnak tekinthető, sokkal inkább, mint a gyakorlatban elterjedt 100 cm³-es mintákkal 'dolgozó' állandó/csökkenő vízszlop módszerek: (1) A minta mérete a 'kéreg módszer' esetében 5650 cm³, amely sokkal jobban reprezentálja a talajszelvényt, mint a másfél nagyságrenddel kisebb ún. kispatronos minták. (2) A mérés során a minta tökéletes vízzel való telítése ellenőrzött és garantált a mintába helyezett tenziométerek segítségével. (3) A mintázó henger belső falára vékony réteg szilikonzsír kerül a mintavétel előtt, amely megakadályozza, hogy az ún. 'falhatás' eltorzítsa a mérési eredményt. (4) A mérés során, a minta határán beállított peremfeltételek (nyomás ill. szívóerő) jól definiáltak. Ezek alapján fogalmazódott meg a projekt első számú célja: **A Suction Crust Infiltrometer ('kéreg' módszer) vizsgálata/használata során szerzett tapasztalatok alapján egy kiforrott és reprodukálható mérési módszertan megalkotása a talajok telített és telítés közeli vízvezetőképességének határozására.**

A hidrológiai, szimulációs növénytermesztési és ökológiai rendszer modellek egyik fontos bemenő paramétere a vízzel telített talaj hidraulikus vezetőképessége, amelyet a szakirodalomban K_s -sel illetve szabadföldi, telítésközeli állapot esetén K_{fs} -sel jelölnék. A

hidraulikus vezetőképességet sok esetben nem méréssel, hanem becsléssel állapítják meg, és ha meg is mérik, a több ismétlésben mért értékek igen nagy szórást, akár 1-2 nagyságrendbeli különbséget is mutathatnak. Gyakran megfogalmazódik az a kritika, hogy a szabvány szerinti 100 cm³-es minta illetve a rajta végrehajtott vízvezetőképesség mérés eredménye nem reprezentálja jól a teljes talajszelvény vízgazdálkodási tulajdonságait ebből a szempontból. Ennek megfelelően a telítési vízvezetőképesség mérésére/becslésére vonatkozó összehasonlító vizsgálatainkat az alábbi módszerekkel bővítettük ki:

6. Kispatronos (100 cm³) minták, állandó vízoszlop módszerével kombinálva (KÁV): a) hagyományos mintavételi metódus, b) szilikonzsír réteg alkalmazása a mintázó-patron falának belső felületére a mintavétel előtt.
7. Különböző adatbázisokon kidolgozott és eltérő bonyolultságú becselőfüggvények (pedotranszfer függvény, PTF). A PTF-ek (1. táblázat) képleteit bedolgoztuk a SOILarium nevű sajátfejlesztésű szoftverbe (Fodor és Rajkai, 2011) a számítások megkönnyítése érdekében.

1. táblázat: A vizsgálatba vont pedotranszfer függvények

#	Forrás	Adatbázis eredete / mintaszáma	Megjegyzés
1	Cosby et al., 1984	USA / 1448	
2	Brakensiek et al., 1984	USA / ~5350	
3	Campbell, 1985	N.A.	Elméleti megfontolások alapján
4	Saxton et al., 1986	USA	10 talajcsoport átlagértékei alapján
5	Vereecken et al., 1990	Belgium / 182	Többnyire homoktalajok alapján
6	Jabro, 1992	USA / 350	
7	Dane & Puckett, 1992	USA / ~84	Kizárólag vályog talajok alapján
8	Wösten et al., 1999	Európa / 5521	
9	Suleiman & Ritchie 2001	N.A.	Elméleti megfontolások alapján
10	Nemes et al., 2005	USA / 886	Mesterséges neurális hálózat segítségével

A projekt másik fő célja annak megállapítása volt, hogy **a vizsgálatba vont (2-7.) módszerekkel meghatározott telítési vízvezetőképesség értékek mennyire közelítik az etalon (1.) módszerrel kapott értékeket.**

Minden terepi mérést 5 ismétlésben végeztünk. A labormérésekhez 5 db 100 cm³-es és 5 db 5650 cm³-es mintát vettünk. További 5 db kispatronos mintát pF illetve térfogattömeg mérésre, valamint 5 db bolygatott mintát mechanikai összetétel és humusztartalom mérésére vettünk. A terepi mérésekhez és a mintavételezéshez kb. 12 m²-es területet használtunk azért, hogy a területi heterogenitásból származó bizonytalanságot a lehető legalacsonyabb szinten tartsuk. A teljes mérési sorozatot végrehajtottuk három eltérő talajcsoportba (homok, vályog, agyag) tartozó talajon (2-3. táblázat), amelyeket több mint 5 éve kivontak a mezőgazdasági művelésből.

2. táblázat: A vizsgálatba vont talajok alapadatai

Helyszín	Mennyiség	Átlag	Szórás	Min	Max
Őrbottyán	Térfogattömeg, g/cm ³	1.65	0.01	1.64	1.67
	Humusz, %	0.79	0.07	0.70	0.87
	Homok, %	86.3	0.6	85.7	87.2
	Vályog, %	8.3	0.7	7.0	8.8
	Agyag, %	5.4	0.2	5.1	5.7
Nagyhörcsök	Térfogattömeg, g/cm ³	1.43	0.04	1.37	1.48
	Humusz, %	2.63	0.07	2.56	2.76
	Homok, %	18.9	0.6	18.0	19.5
	Vályog, %	56.0	1.0	54.6	57.4
	Agyag, %	25.1	0.5	24.6	25.9
Szurdokpüspöki	Térfogattömeg, g/cm ³	1.28	0.03	1.23	1.31
	Humusz, %	4.37	0.90	3.59	5.51
	Homok, %	13.2	2.3	10.6	16.3
	Vályog, %	41.8	1.2	40.1	43.0
	Agyag, %	45.0	1.3	43.6	46.4

3. táblázat: A vizsgálatba vont módszerekkel meghatározott $K_{S, makro}$ illetve $K_{S, mátrix}$ értékek.

Módszer	Mért mennyiség	Homok	Vályog	Agyag
		Átlagérték, cm/nap		
SCI, 1. fázis	$K_{S, makro}$	94	94	68
SCI, 2. fázis	$K_{S, mátrix}$	74	28	6
MDI	$K_{S, mátrix}$	68	37	12
GI	$K_{S, makro}$	90	54	102
TDI	$K_{S, mátrix}$	72	26	2
DRI	$K_{S, makro}$	86	74	32
KÁV(a)	$K_{S, makro}$	91	64	113
KÁV(b)	$K_{S, makro}$	52	38	108

A pedotranszfer függvények becslései 7,5 és 390; 2.6 és 23.1 illetve 0,9 és 7,3 cm/nap között mozogtak a homok, vályog és agyag talajra. Nem találtunk olyan PTF-t, amely mindhárom talajcsoportra elfogadható becslést adott volna.

A mérési eredmények alapján az alábbi főbb következtetések tehetők:

1) A standard, kis patronos (100 cm^3) mintavételezést szilikon zsírral bekent belsőfalú patronokkal is elvégeztük a falhatás kimutatása érdekében. A t-próba ($\alpha=0.05$) szerint a zsírozás nélkül vett kis patronos minták telítési vízvezető képessége szignifikánsan nagyobb, mint a nagy patronos mintáké homok és vályog talajon. A zsírozott falú kis patronos minták K_S értékei azonban csak homok talajra voltak statisztikailag 'azonosak' a referenciának tekintett 'kéreg' módszerrel mért nagy patronos minták K_S értékeivel. Ezen eredmény úgy magyarázható, hogy a mintázó henger fala és a talaj között kialakuló makropórusok (falhatás) a zsírozott falú hengerekben mérthez képest megnövelik a mért vízvezetőképesség-értékek átlagát. Javasoljuk ezért a mintázó-henger belső falának zsírozását a jelenleg standard K_S mérési módszer mintavételi metodikájának részévé tenni. Az agyag talajon mért 'irreális'-nak tűnő eredmény jól szemlélteti a valóságot: a felszín közelében a beszivárgás döntő mértékben a makropórusokon keresztül történik illetve a kispatronokba kerülő makropórusok (2. ábra) aránytalanul eltorzíthatják a mérési eredményt a nagypatronos mintákhoz képest.



2. ábra: Agyag talajból vett kispatronos minták visszamaradt üregei. A középső lyukban visszamaradt gyökér 'óriási' makropórust hagyott hátra a mintában. Ez a nagypatronos mintavételezésnél nem fordulhat elő, a mintavétel jellegéből (ld. később) fakadóan.

2) MDI: Olcsó (50e Ft), kisméretű és könnyen használható készülék. Egy méréshez 50 cm^3 víz is elegendő. Segítségével a talajmátrix vezetőképessége határozható meg 2 cm-es szívóerő mellett. A telítési vízvezetőképesség ($K_{S,matrix}$) csak extrapolációval határozható meg, amely komoly hibaforrást jelenthet. További hátránya, hogy a módszerben foglalt számításokhoz szükség van a talaj nedvességtartó függvényének van Genuchten paramétereire. Mindhárom talajtípuson (homok, vályog, agyag) jól használhatónak találtuk.

3) GI: Drága (500e Ft), nagyméretű ($>1,5 \text{ m}$ magas), nagytömegű (kofferrel együtt 17 kg) de könnyen használható készülék. Nagy előnye, hogy munkagödör ásása nélkül is képes akár 70 cm-es mélységben is mérni, mivel a mérés egy kb. 5 cm átmérőjű furat alján történik. Kötetesebb talajon azonban fúrás közben a furat oldalfala elkenődhet (a pórusok lezáródnak) megakadályozva a beszivárgást és a mérést. A gyártó által erre a célra biztosított erős kefe segítségével az elkenet felület elvben fellazítható. Nehéz azonban eltalálni mennyire szabad (milyen erősen) használni a kefét. Tapasztalatunk szerint a kefe mérsékelt használata nem elégséges a beszivárgás megindításához (a furatban órákon át állt a víz). Másfelől, amikor a kefét intenzíven használjuk félő, hogy jelentősen megváltozik a beszivárgási felület (pl. mérete). Talán ennek tudható be, hogy agyag talajon a GI-rel mért K_S érték jelentősen meghaladta az etalon módszerrel kapott értéket. Ezt az eszköz csak homok és vályog talajok esetében tudjuk ajánlani.

4) TDI: Drága (500e Ft), közepes méretű eszköz, amely használatához komoly szakértelem és nagy odafigyelés szükséges. Segítségével a talajmátrix vezetőképessége határozható meg 5-30 cm-es szívóerő mellett. A telítési vízvezetőképesség ($K_{S,matrix}$) csak extrapolációval határozható meg, amely komoly hibaforrást jelenthet. Mindhárom talajtípuson (homok, vályog, agyag) jól használhatónak találtuk.

5) DRI: A legolcsóbb eszköz. Könnyen használható, bár bizonyos esetekben a méréshez nagymennyiségű víz szükséges. Mindhárom talajtípuson (homok, vályog, agyag) jól használhatónak találtuk.

6) További eredmények, a mért értékek illetve mérőeszközök gyakorlati felhasználása:

A két talajtípuson megmért vezetőképesség értékek felhasználásával talajnedvesség-forgalmi szimulációkat végeztünk a HYDRUS-1D modell segítségével. Megállapítottuk, hogy különböző módszerekkel nyert vezetőképesség értékek eltérése a modell eredményiben nagy bizonytalanságot eredményez. Becslőmódszerek alkalmazása a modell bemenő adatainak előállítására ellenjavallt.

A terepi mérési módszerek mélyreható vizsgálata során megállapítottuk, hogy az egyes terepei mérőeszközökkel nyert nyers mérési adatok több eltérő elméleti háttérű számítási módszerrel is kiértékelhetők, amelyek eredményei, tudniillik a telítési vízvezetőképesség értékek, akár nagyságrenddel is eltérhetnek egymástól. Így a telítési vízvezetőképesség esetén a skála-függésből, a területi és szezonális változatosságból valamint a lokális heterogenitásból adódó bizonytalanságon túl egy mérőeszköztől ill. az alkalmazott kiértékelési módszertől való függés is megjelenik, mint bizonytalansági tényező. Ez utóbbi mértéke nem elhanyagolható az előbbi, már jól ismert tényezőkkel összehasonlítva. A kiértékelési módszerek egy része felhasználja a talaj víztartóképesség függvényének bizonyos paramétereit, amelyeket méréssel és becsléssel (pedotranszfer függvény segítségével) is meghatározhatunk. Vizsgálataink során egyértelműen kiderült, hogy a kiértékelési módszerek során pedotranszfer függvények alkalmazása határozottan ellenjavallt, használatuk irreális eredményekhez vezethet.

Az eddigi tapasztalataink alapján különösen jól használhatónak talált 'mini disk infiltrometer'-rel két kísérletsorozatba kezdtünk, melynek során a talajművelés vízvezetőképességre gyakorolt hatását valamint a K_S értékek térbeli heterogenitását vizsgáltuk. Ezek eredményeinek publikálása már csak a projekt zárása után várható.

A költségterv-módosításnak köszönhetően megvásárolt talajnedvességmérővel illetve talajhőmérőkkel 24 illetve 8 pontban, 8 illetve 5 mélységben 2010 április eleje óta monitorozzuk az MTA ATK TAKI örbottyáni telepén beállított agro-meteorológiai mérőállomás négy parcellája nedvességállapotának és hőmérsékletének időbeli alakulását. A begyűjtött adatok felhasználásával, az ún. inverz modellezés segítségével meghatározhatók a talaj vízgazdálkodási (pl. K_S) és hőtani alapparamétere is. A nedvességmérő segítségével egy független tesztkísérletben nyert beszivárgási adatokat már kiértékeljük inverz modellezéssel is. Az így kapott telítési vízvezetőképesség érték jó egyezést mutatott a többi mérési módszerrel kapott eredményekkel.

7) A Suction Crust Infiltrometer-rel ('kéreg' módszer) történő mérés menete

Mintavétel: A nagypatronokat (rozsdamentes acéllemezből hajlítva, falvastagság: 2 mm, magasság és átmérő: 20 cm) a talajba nyomás előtt, belülről szilikon zsírral, vékony rétegben kikenjük. A patronok talajba nyomásához kapható Eijkelkamp gyártmányú 'híd', amelynek azonban két hátránya van: 1) nagyon drága, 2) a hidat a talajba rögzítő menetes száruk nagyobb talajellenállás esetén (pl. száraz talaj) kiszakadnak a talajból. A híd jól kiváltható a mintavétel helyének megközelítéséhez használt járművel (pl. terepjáró). Ennek segítségével a patronokat hidraulikus emelővel préseljük a talajba úgy, hogy a 20 cm magas hengerek 19 cm magasságig teljenek meg talajjal (3. ábra). A hengereket ezután körbeássuk és ásóval alájuk nyúlva óvatosan kifordítjuk őket a talajból. A hengerek alsó peremén túlnyúló talajdarabot hosszúpengéjű késsel vagy fűrészlappal lefaragjuk és a henger aljára, vastag gumival erős fólia darabot helyezünk. A henger tetejét szivacskoronggal zárjuk le.



3. ábra: A mintavételezés főbb lépései.

Mérés a laboratóriumban, 1. fázis ($K_{S, makro}$ mérése): A henger két végét lezáró fóliadarab illetve szivacskorong eltávolítása után a talajpatronokat 50 cm magas kvarchomokkal ($K_S > 500$ cm/nap) telített PVC hengerekre helyezzük (1. ábra). A minta és a henger csatlakozási pontját vízzáró szilikon ragasztóval tömítjük. A hengert és a patronba vett talajt alulról, lassan vízzel telítjük. A telítéshez használt szilikon csővel a víz szintje tetszőlegesen állítható (1. ábra). A talaj felszínétől 7 és 12 cm mélységben egy-egy tenziométert helyezünk a mintákba a víztelítettség ellenőrzésére. A vízszintet 1 cm-rel talaj felszíne fölé állítjuk. Miután a tenziométerek szerint a talaj teljesen telítődött vízzel, a talaj vízborítottságát megtartva, átfolyási kísérletet hajtottunk végre, amelyhez a vízutánpótlást Mariott palackkal biztosítjuk. Érdeemes a vízzel telített talaj tetejére geotextíliát helyezni, hogy megakadályozzuk a Mariott palackból a felszínre érkező víz romboló hatását. A víz szintjét a talaj felszíne alatt 20 cm-re állítjuk és túlfolyó segítségével a talajon átfolyó vizet mérőhengerekben fogjuk fel (1b. ábra). A minta keresztmetszetén egységnyi idő alatt átfolyó víz (q) ismeretében a telítési vízvezető képességet a Darcy egyenlettel [1] számítjuk ki.

$$[1] \quad q = -K_S \frac{\Delta p}{L}$$

K_S telítési vízvezetőképesség [m/s]
 Δp nyomáskülönbség az áramlási tér két pontja között [m]
 L távolság a nyomásmérések helyei között [m]

Mérés a laboratóriumban, 2. fázis ($K_{S,matrix}$ mérése): A $K_{S,makro}$ értékek mérése után finom kvarchomok és csemperagasztó 10:1 arányú keverékéhez további 10 tömegszázalék víz adagolásával száraz keveréket hozunk létre, amelyből 7-9 mm vastag kérget rétegeztünk a talajminták felszínére. A kéreg megszilárdulása (eközben a víz szintje a talaj felszíne alatt 1-2 cm-re van állítva) után a patronok tetejére vízzáró szilikonnal plexi kupakot ragasztunk. A kupak egyik (középső) csőcsonkjára Mariott csővel ellátott bürettát csatlakoztattunk (1c. ábra). A bürettából kifolyó víz feltölti a kéreg felszíne és a plexi kupak közötti hézagteret, a kiszorított levegő pedig a másik csőcsonkon távozik. A levegő távozása után ezt a csőcsonkot dugóval lezárjuk. A büretta illetve a Mariott cső alsó végének patronhoz képesti helyzetét változtatva a talaj felszínén 0 és 40 cm_{H₂O} közötti szívóerőt állíthatunk be (2c. ábra). A kéreg segítségével a vízáramból kizárjuk a makro-pórusokat. Így a talajmátrix (0 cm_{H₂O} szívóerő) telítési vízvezető képessége mérhetővé válik, valamint egyre nagyobb szívóerők beállításával a $K(\Phi)$ függvény nagyobb tenziótartományba eső része is.

A SCI-rel mért $K_{S,makro}$ és $K_{S,matrix}$ értékek jól mutatják a talaj főbb jellegzetességeit (a homok vályog, agyag sorban a makropórusok vízáramlásban játszott szerepe egyre jelentősebb) és különbségeit (a homok vályog, agyag sorban a vízvezetőképesség ($K_{S,matrix}$) csökken, és a mért értékek jó egyezést mutatnak az irodalomból ismert átlagértékekkel). Az SCI esetében kis befektetéssel megvalósítható az az infrastruktúra, amivel rutinszerű mérési folyamat valósítható meg.

A projekt főbb eredményeit a Geoderma nevű rangos, talajtani folyóiratban jelentettük meg 2011-ben

Irodalom

Brakensiek, D.L., Rawls, W.J., Stephenson, G.R. (1984) Modifying SCS hydrologic soil groups and curve numbers for rangeland soils. ASAE paper no. PNR-84203, St. Joseph MI.

Campbell, G.S. (1985) Soil Physics with BASIC. Transport models for soil-plant systems 53-54. Elsevier

Cosby BJ, Hornberger GM, Clapp RB, Ginn TR (1984) A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. Water Resour Res 20:682–690

Dane J.H., Puckett W.E. (1992) Field soil hydraulic properties based on physical and mineralogical information. In: van Genuchten M.Th. et al. (Eds.) Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. University of California, Riverside, CA, pp. 389-403.

Fodor N, Rajkai K. (2011) Computer program (SOILarium 1.0) for estimating the physical and hydrophysical properties of soils from other soil characteristics. Agrokémia és Talajtan 60:27-40

Jabro, J.D. (1992) Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density data. Trans. ASAE 35 (2), 557–560.

Nemes, A., Rawls, W.J., Pachepsky Y.A. (2005) Influence of Organic Matter on the Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1330–1337

Saxton KE, Rawls WJ, Romberger JS, Papendick RI (1986) Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Sci Soc Am J* 50:1031–1036

Suleiman, A.A., Ritchie., J.T. (2001) Estimating saturated hydraulic conductivity from soil porosity. *Trans. ASAE.* 44: 235-239.

Vereecken, H., J. Maes, and J. Feyen. (1990) Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties. *Soil Sci.* 149:1–12.

Wösten J.H.M., Lilly, A., Nemes, A., Le Bas, C. (1999) Development and use of dataset of hydraulic properties of European soils. *Geoderma.* 90:169-185.